

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА СИНТЕЗ-ГАЗЕ

### THE EFFICIENCY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE ON THE SYNGAS

Козлов А. Н., Худякова Г. И., Свищёв Д. А.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург,  
Институт систем энергетики им. им. Л.А. Мелентьева, Иркутск, uge87@mail.ru

Kozlov A. N., Khudyakova G. I., Svechev D. A.

Ural Federal University, Ekaterinburg,  
Melentiev Energy Systems Institute, Irkutsk

**Аннотация:** Представлен обзор состояния вопроса о возможности использования газового топлива в ДВС. Проанализированы особенности работы двигателя на газовом топливе, в том числе и на синтез-газе, рассмотрено несколько моделей двигателей, работающих на газовом топливе малой мощности. Предложены типовые мероприятия по модернизации ДВС при переводе на низкосортное газовое топливо.

**Abstract:** A review of the state about the possibility of using gas as fuel in internal combustion engines are presented. The features of the gaseous fuel engine, including at the synthesis gas were analyzed, several engine models operating on gas fuel of low power were considered. The standard measures for the modernization of the internal combustion engine when translated into low-grade gas fuel were proposed.

**Ключевые слова:** *газификация; синтез-газ; двигатель внутреннего сгорания; эффективность работы.*

**Key words:** *gasification; syngas; internal combustion engine; efficiency.*

Использование природного газа в качестве топлива в ДВС возможно в двигателях стационарного и транспортного типа, работающих по принципу внешнего смесеобразования с искровым зажиганием. Основным типом двигателей, использующих газообразные топлива являются стационарные ДВС, которые, как правило, применяются для газопоршневых электростанций небольшой мощности. Основным рабочим топливом является природный газ.

Конструктивно газопоршневой двигатель представляет собой обычный двигатель внутреннего сгорания, как правило с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием рабочей смеси. Энергия сгорания топлива в цилиндрах двигателя выполняет механическую работу, которая обеспечивает работу генераторов, вырабатывающих электроэнергию.

Существенным преимуществом газопоршневых электростанций является возможность применения в них различных типов газа (например, природные и промышленные газы). Под промышленными понимаются газы, получаемые при добыче и переработке нефти, канализационные газы, а также газы, получаемые путем специальной переработки твердых топлив (газификация). Удельная теплота сгорания альтернативного газа значительно меньше чем, у природного ( $33\text{--}35 \text{ МДж/м}^3$ ) и составляет  $10\text{--}25 \text{ МДж/м}^3$ .

Попутный или факельный газ является одним из подвидов топлива группы «природного газа». Попутный газ, выделяющийся при добыче нефти, состоит в основном из метана тяжелых углеводородов. Преобладание этих веществ ведет к детонационному сгоранию и требует специальной адаптации газовых двигателей, локальное использование попутного газа – бесплатного отхода нефтедобычи – способно обеспечить как электроэнергией, так и теплом месторождения в самых отдаленных точках. Таким образом, рационально и экономично решается задача экологически чистой утилизации.

Газ факелов является так же ценным энергетическим сырьем и с помощью специального оборудования может использоваться более рационально. К примеру, в 1997 Бразильская нефтяная компания «Petrobras» установила модуль компании Jenbacher, энергия которого используется для предварительного нагрева сырой нефти. Приблизительно  $250 \text{ м}^3$  факельного газа в час, вместо того, чтобы нагревать атмосферу и служить причиной упреков со стороны экологических организаций, производят  $1,164 \text{ кВт}$  электроэнергии и  $1,708 \text{ кВт}$  тепловой энергии.

Существует ряд сложностей при эксплуатации газового топлива, зачастую к низкосортному газу требуется дополнительный впрыск жидкого топлива (как правило запальный). Интерес для использования в энергогенерирующем секторе представляют двухтопливные дизели и газопоршневые двигатели. Привлекает внимание различный характер изменения КПД при снижении нагрузки, более благоприятный для двигателей на жидком топливе, однако, отличия не носят принципиального характера. Подобный же характер зависимости КПД от относительной нагрузки получен и фирмой "Perkins" (рисунок).

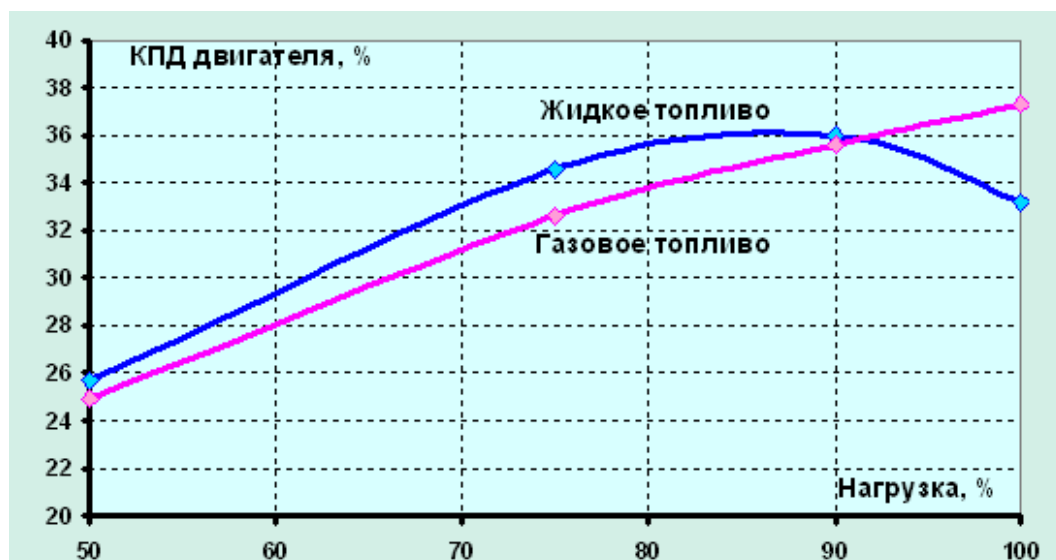
Узел генерации альтернативного газа и газопоршневая электростанция размещаются обычно в непосредственной близости как единый комплекс по производству синтез-газа из органического сырья и последующей выработки электрической и тепловой энергии.

Газопоршневые двигатель-электрогенераторные агрегаты разрабатывают и выпускают многие известные за рубежом и в России компании, например, Cummins (США), MWM GmbH (Германия), GE Jenbacher (Австрия), MTU Onsite Energy GmbH (Германия). Некоторые из них работают не только на природном, но и на альтернативном топливе.

Одной из особенностей ДВС на низкокалорийном топливе является конструкция поршня, приспособленная для работы с повышенной степенью сжатия [2]. Для обеспечения высоких ресурсных показателей деталей и узлов

двигателей используются, в частности, гальванические покрытия. Высокие энергетические параметры газопоршневых генераторных установок на альтернативном топливе достигаются, в том числе за счет исключения процесса предварительного сжатия синтез-газа.

Основной задачей расчета рабочего цикла является определение основных параметров и показателей рабочего процесса, характеризующих эффективность и экономичность работы газового двигателя.



Соотношение КПД двигателей на жидком и газообразном топливе [1]

Тепловой расчет четырехтактного газопоршневого двигателя на генераторном газе из твердых топлив произведен по методике, на основе литературных данных [3-5]. Основной задачей расчета рабочего цикла является определение основных параметров и показателей рабочего процесса, характеризующих эффективность и экономичность работы газового двигателя.

В случае если производится тепловой расчет вновь проектируемого газового двигателя, то определяются основные размеры его рабочего цилиндра, число оборотов.

Исходными данными для расчета являются:

- состав газа (состав генераторного газа в процентах:  $\text{CO}_2$  – 10,2,  $\text{CO}$  – 45,8,  $\text{H}_2$  – 3,  $\text{N}_2$  – 38,8); и для сравнения расчет на метан  $\text{CH}_4$  – 100.
- расход и теплотворная способность генераторного газа, определяемые при тепловом расчете газогенератора,
- условия окружающей среды (давление и расчетная температура окружающего воздуха).

Выполнялся тепловой расчет ДВС (при коэффициенте избытка воздуха 1,25.) на синтез-газе на мощность установки 300 кВт. Задаваемый состав газа рассчитывался по термодинамическому равновесию процесса конверсии. Проведено сопоставление эффективности работы модернизированных двигателей и двигателя на природном газе (метан) (таблица).

Расчет сделан на сухой газ (без учета внешней влаги), технологически предпочтительно производить предварительную осушку газа перед подачей в ДВС, и температуру газа, подаваемого в двигатель значительно снижать до порядка 40 °С. Теплота от охлаждения синтез-газа может быть через теплообменник передана на пиролизер или подогрев воздуха, подаваемого в газогенератор.

Результаты теплового расчета газопоршневого двигателя

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Синтез-газ	Метан
Удельный вес горючего газа	$\gamma_n$	кг/нм <sup>3</sup>	1,26	0,752
Низшая теплотворность горючего газа	$Q_n^c$	ккал/нм <sup>3</sup>	1474	8000
Объем теоретически необходимого воздуха для сжигания единицы объема топлива	$L_o$	нм <sup>3</sup> /нм <sup>3</sup>	1,16	8,95
Электрическая мощность двигателя	$Ne$	кВт <sub>э</sub>	251,7	304,6
Удельный эффективный расход топлива	$V_e$	м <sup>3</sup> /э.л.с.ч.	1,99	0,339
Удельный эффективный расход тепла	$q_e$	ккал/э.л.с.ч.	2940	2716
Эффективный коэффициент полезного действия двигателя	$\eta_e$	%	21,4	23,2
Индикаторный КПД с вычетом насосных потерь	$\eta_{ic}$	%	27,8	28,9

Температура выхлопных газов двигателя достигает 500-600 °С на расчетный уровень мощности, и она тем выше, чем меньше мощность двигателя, для мощности в 1000 кВт эта величина порядка 400 °С.

На каждый кВт выработанной электроэнергии в когенераторных газопоршневых установках производится 1,2 - 1,3 кВт тепловой энергии.

При использовании метана в качестве топлива следует принимать большие значения коэффициента избытка воздуха. В случае синтез-газов удельные расходы топлива значительно выше, чем на метане, и электрическая мощность двигателя соответственно снижается, поскольку двигатель работает на более низкокалорийном газе.

Газовый двигатель обеспечивает работу электрогенератора, вырабатываемая электроэнергия используется для энергоснабжения объекта. Теплота, выделяющаяся при работе газового двигателя, утилизируется с

помощью теплообменников на системе охлаждения двигателя и на системе отвода отходящих газов.

*Работа выполнена в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10227).*

#### Список использованных источников

1. Отчет энергетические газотурбинные установки и энергетические установки на базе газопоршневых и дизельных двухтопливных двигателей [Электронный ресурс] // Портал "РосТепло". URL: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=788](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=788) (дата обращения 02.11.2015).
2. Трохин И. Газопоршневые двигатели для мини-ТЭЦ на природном газе и биогазе [Электронный ресурс]. URL: [http://www.aqua-therm.ru/articles/articles\\_276.html](http://www.aqua-therm.ru/articles/articles_276.html). (дата обращения 02.11.2015).
3. Тареев В.М. Справочник по тепловому расчету рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания. М: Ленинград 1961. 416 с.
4. Коллеров Л.К. Газовые двигатели поршневого типа. Л.: Машиностроение. 1968. 212 с.
5. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов. Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. 344 с.

УДК 621.577

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИСПАРИТЕЛЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

### STUDY OF MODES HEAT PUMP EVAPORATOR

Козырев Д. В., Квеладзе З. Д., Пташкина-Гирина О. С., Низамутдинов Р. Ж.  
Южно-Уральский государственный аграрный университет,  
г. Челябинск, [dmitros.kovarne@gmail.com](mailto:dmitros.kovarne@gmail.com)

Kozyrev D. V., Kveladze Z. D., Ptashkina-Girina O. S., Nizamutdinov R. Zh.  
South Ural State Agroengineering University, Chelyabinsk

**Аннотация:** В работе проведен поиск наиболее эффективных методов отбора тепла от различных видов сред. Приводятся основания для выбора различных форм-факторов испарителей теплонасосных установок.